

論文96-33B-5-14

Local min/max 연산을 이용한 Ridge 및 Valley의 검출

(Detection of Ridges and Valleys using Local min/max Operations)

朴重祖*, 金景敏**, 鄭淳元**, 朴貴泰**

(Joong Jo Park, Kyoung Min Kim, Soon Won Jung, and Gwi Tae Park)

요 약

영상 처리에 의한 물체 해석에 있어서, 선의 검출은 전처리 단계에서 중요한 역할을 수행하는데, 이러한 선 부분은 영상내의 리지(ridge)나 밸리(valley)를 검출함으로써 쉽게 구할 수 있다. 본 논문에서는 local min/max 연산을 이용하여 계조치 영상내의 리지와 밸리부분을 검출하는 새로운 방법을 제안한다. 본 방법은 local min/max 연산의 침식 및 확산 특성을 이용하여 원하는 폭의 리지 및 밸리를 검출하며, 이때 리지와 밸리의 방향 정보를 필요로 하지 않는다. 따라서, 본 방법은 기존의 해석적인 방법에 비해 효율적이고 계산이 간단하다는 장점을 갖는다.

Abstract

In object analysis by image processing, finding lines plays a universal role. And these lines can be easily found by detecting ridges and valleys in digital gray scale images. In this paper, a new method of detecting ridges and valleys by using local min/max operations was presented. This method detects ridges and valleys of desired width by using erosion and dilation properties of local min/max operations, and requires no information of ridge or valley direction. Therefore the method is efficient and computationally simple in comparison with the conventional analytical methods.

I. 서 론

영상처리에 의한 물체 해석(object analysis)에 있어서 직선이나 곡선의 검출은 형상의 구조 표현등을 위해 기본적인 광범위한 역할을 한다. 계조치 영상내에서, 원하는 직선이나 곡선 부분은 리지(ridge)나 밸리(valley)를 검출함으로써 얻을 수 있는 경우가 많으며, 따라서 컴퓨터 비전 알고리즘에서 리지 및 밸리를 이루는 화소의 검출은 중요한 부분을 차지한다. 리지는

단순히 연결된 화소열(sequence of pixels)로 볼 수 있으며, 이때 이 화소열상의 화소들의 밝기 레벨은 그 화소열 근방에 위치한 화소들의 밝기 레벨보다 어떤 의미에서 더 높은 값이어야 한다. 여기서 어떤 의미란 화소열 근방의 밝기 레벨들의 분포를 고려함을 뜻하는데, 만일 영상내의 리지 라인을 따라 간다고 할 때, 그 좌우측에 있는 화소들은 리지상의 현재 위치의 화소보다 더 작은 밝기 레벨을 가지게 될 것이다. 밸리는 그 진행 방향의 직각 방향에 있어서 최소의 밝기 레벨을 갖는다는 점만 제외하면 그외는 리지와 같은 방식으로 생각할 수 있다. 이러한 리지 및 밸리 라인은 그 진행 방향이 직선이거나 구부러질 수 있으며, 수평하거나 상하로 점차 경사지는 모양을 이룰 수도 있다.^[1]

계조치 영상으로 부터 리지와 밸리를 검출하는 간단한 방법으로는 Johnston과 Rosenfeld가 제안한 방법^[4]이 있는데, 이는 어떤 화소값이 그의 좌우 화소값보다

* 正會員, 慶尙大學校 制御計測工學科
(Dept. of Control and Instrumentation Eng.
Gyeongsang National Univ.)

** 正會員, 高麗大學校 電氣工學科
(Dept. of Electrical Eng. Korea Univ.)

接受日字:1995年3月2日, 수정완료일:1996年4月18日

크거나 또는 그의 상하 화소값보다 크면 그 화소를 리지로 판별하고, 그와 반대로 어떤 화소값이 그의 좌우 화소값보다 작거나 또는 그의 상하 화소값보다 작으면 그 화소를 밸리로 판별하는 매우 단순한 방법이다. 그러나 이 방법은 필요한 부분의 검출이나 그 연결성면에서 성능이 좋지 않다, 리지와 밸리를 보다 효과적으로 검출하는 다른 방법으로 Haralick이 제안한 해석적인 방법^[15,6]이 있다. 이 방법에서는 영상을 2차원 좌표축 상의 표면 함수로 환산하고 이의 방향성 도함수(directional derivative)를 계산해야 한다. 즉, 각 화소 위치에서 여러 방향에 대해 2차 편미분을 계산하여 그 값이 최소(리지 검출시) 또는 최대(밸리 검출시)가 되는 방향을 구하고, 그 방향으로 해당 화소를 통과하는 직선을 따라 1차 방향성 도함수를 계산하여 그 값들이 해당 화소에 충분히 가까운 위치에서 zero crossing을 가지는가를 조사함으로써 리지 또는 밸리에 속하는 화소를 검출한다. 그러나 이러한 해석적인 방법을 실제로 임의의 화소값 분포를 갖는 디지털 영상에 적용하는데는 여러 복잡한 문제가 따르고 계산량도 많아진다.

이에 대해, 본 논문에서는 local min/max 연산을 이용하여 간단하게 리지와 밸리를 검출하는 새로운 방법을 제시한다. Nakagawa와 Rosenfeld^[7]가 제안한 이들 연산은 계조치 영상에 대해 침식(erosion) 및 확산(dilation)의 특성을 나타내는데, 이들 특성은 계조치 모폴로지(gray scale morphology) 기법^[2,3]에서의 가장 기본적인 연산인 침식 및 확산 연산의 특성과 유사하다. 그러나 local min/max 연산은 모폴로지 연산보다 훨씬 간결하며, 사실상 모폴로지 연산의 특별한 경우라 볼 수 있다. 따라서 기존의 모폴로지 기법에서 연구된 여러 처리 방법들의 특성을 파악하고 응용하여, 이를 local min/max 연산으로 구현하면, 간결한 연산으로 여러 유용한 영상 처리 기법들을 개발할 수 있다.

본 연구에서는 모폴로지 기법에서의 오프닝(opening) 연산이 계조치 영상내에서 좁은 형태로 돌출한 밝은 부분을 제거하며, 클로우징(closing) 연산이 좁은 형태의 어두운 부분을 제거한다는 특성에 착안하여, local min/max 연산의 조합으로 오프닝 연산 및 클로우징 연산을 구현하고, 이들 각각을 계조치 영상에 적용하여 리지 및 밸리 부분을 검출한다. 본 기법은 구하고자 하는 리지나 밸리의 방향 정보를 필요로 하지 않으며, 매우 간단한 연산으로 다양한 폭의 리지와 밸리를 검출할 수 있다.

본 논문의 구성은, I장의 서론에 이어, II장에서 local min/max 연산의 특성을 간단히 기술하고, III장에서 제안된 리지 및 밸리 검출 기법에 대해 설명한다. IV장에서는 본 기법의 효용성을 입증하기 위해 실험 영상에 본 기법을 적용한 결과를 보이고, 마지막으로 V장에 결론을 실었다.

II. Local min/max 연산

이치 영상에 대한 침식 및 확산 연산은 국부적 소영역에 대해 AND, OR 연산을 사용하여 구현되며, 이는 이치 영상에서의 잡음 제거, 물체 추출 및 영역 분할 등에 이용되어 왔다. 이에 대해, Nakagawa와 Rosenfeld는 퍼지 개념이 이치 논리인 AND 및 OR 연산을 다치 논리인 min 및 max 연산으로 확장한다는데 착안하여 local min 및 local max 연산을 제안하였다.^[7] 이 local min/max 연산은 다치 영상의 침식 및 확산에 사용될 수 있으므로, 이를 이용하면 이치 영상에 대한 기존의 AND 및 OR 연산의 응용 기법을 다치 영상으로 확장할 수 있다. 여기서는 local min 연산 및 local max 연산의 연산자로서 \min_R 과 \max_R 을 사용하기로 한다. 여기서 첨자 R은 특정 화소에 이 연산자를 적용할 때 사용되는 근방의 국부적 소영역을 나타낸다. 이때 \min_R 연산은 퍼지 영상내의 각 화소의 값을 자신을 포함한 자기 이웃내의 최소값으로 대체하는 것이고, \max_R 연산은 퍼지 영상내의 각 화소의 값을 자신을 포함한 자기 이웃내의 최대값으로 대체하는 연산으로 설명된다. 이들 연산은 영상내의 모든 화소에 대해 패러렐로 수행되며, 이때 사용되는 최소 크기의 국부적 소영역으로는 중심 화소의 4-근방이나 또는 8-근방을 생각할 수 있다. 그림 1의 3x3 크기인 영상 영역에 대해 중심 화소의 4-근방을 국부적 소영역으로 사용하는 경우, 중심 화소 μ^0 에 대한 local min 연산 및 local max 연산의 결과값 $\min_R(\mu^0)$ 와 $\max_R(\mu^0)$ 는 각각 식 (1), (2)로 계산되며,

$$\min_R(\mu^0) = \min\{\mu^{2k+1}; k=0, 1, 2, 3\} \quad (1)$$

$$\max_R(\mu^0) = \max\{\mu^{2k+1}; k=0, 1, 2, 3\} \quad (2)$$

또한, 8-근방을 사용하는 경우에는 각 결과값이 식 (3), (4)로 계산된다.

$$\min_R(\mu^0) = \min\{\mu^k; k=0, 1, 2, \dots, 8\} \quad (3)$$

$$\max_{\mu} (\mu^u) = \max \{ \mu^k; k=0, 1, 2, \dots, 8 \} \quad (4)$$

μ^4	μ^3	μ^2
μ^5	μ^0	μ^1
μ^6	μ^7	μ^8

그림 1. 3x3 영상 영역
Fig. 1. A 3x3 image region.

local min/max 연산은 패러렐 근방 연산(neighborhood operation)에 속하게 되는데, 근방 연산은 본질적으로 주위 화소의 농도값 정보를 출력에 반영시키기는 하나 1 회 연산에서 반영되는 범위는 정해진 근방의 크기에 제한된다. 이때 근방의 크기를 넓히는 대신에 최소 크기의 근방을 사용하는 연산을 반복하여 사용(iterative operation)함으로써 보다 넓은 범위의 정보를 각 화소의 출력에 반영시킬 수 있다. 그림 2는 local min/max 연산을 반복 적용할 때 특정 중심 화소에 영향을 미치는 근방 영역의 크기를 보여 준다. 그림 2(a)에서는 국부적 소영역으로서 중심 화소 μ 의 4-근방을 사용할 경우, 반복 적용 횟수 n에 대해 중심 화소에 영향을 미치는 근방 영역의 범위를 보여 주는데, 이를 그림 2(b)의 "4-근방 거리(4-neighbor distance)" 정의에 따른 중심 화소로부터의 거리 표현 예와 비교해 보면, 반복 연산시 반복 횟수와 동일한 크기인 4-근방 거리 이내의 모든 화소값이 해당 중심 화소에 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 필요에 따라 여러 다른 크기의 국부적 소영역을 따로 사용하는 대신, 일정한 최소 크기의 국부적 소영역을 갖는 local min/max 연산을 하나 정하고 단순히 그 연산을 반복해서 적용함으로써, 원하는 침식 및 확산 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그림 2(c)와 (d)는 국부적 소영역으로서 8-근방을 사용하는 경우를 나타내며, 그 설명은 4-근방의 경우와 같다.

이상과 같은 local min/max 연산의 특성을 이용하면 여러 종류의 영상 처리를 할 수 있는데, 그 예로서 계조치 "salt and pepper" 잡음의 제거, 에지 검출 및 비선형 공간 필터링을 위한 사용 방법^[8,10]과 계조치 선화에 대한 응용 연구^[9]가 발표 되었다.

III. 리지 및 밸리 검출 알고리즘

본 절에서는 기존의 계조치 모폴로지(gray-scale

morphology) 연산의 특성을 이용하여 영상으로부터 리지와 밸리를 검출할 수 있는 근거를 보이고, 다소 복잡한 형태인 계조치 모폴로지 연산을 사용하는 대신 단순한 형태인 local min/max 연산을 사용함으로써 리지와 밸리를 검출하는 방안을 기술한다.

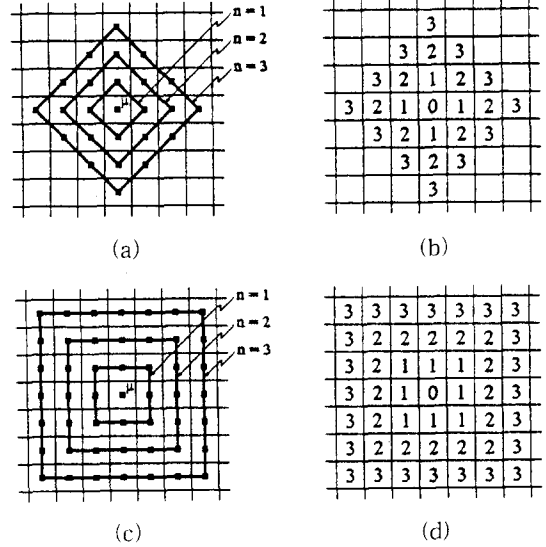


그림 2. Local min/max 연산의 반복 적용과 그 영향 범위

(a) 4-근방 local min/max 연산과 반복 횟수 n (b) 4-근방 거리 (c) 8-근방 local min/max 연산과 반복 횟수 n (d) 8-근방 거리

Fig. 2. Iterative applications of local min/max operations and their influential ranges.

(a) 4-neighbor local min/max operations and its iteration No. n (b) 4-neighbor distance (c) 8-neighbor local min/max operations and its iteration No. n (d) 8-neighbor distance

기존의 계조치 모폴로지 기법에서, 침식(erosion) 연산과 확산(dilation) 연산은 다음의 식 (5), (6)으로 정의된다.^[21]

$$\text{EROSION} : (f \ominus b)(s,t) = \min \{ f(s+x,t+y) - b(x,y) \mid (s+x,t+y) \in D_f; (x,y) \in D_b \} \quad (5)$$

$$\text{DILATION} : (f \oplus b)(s,t) = \max \{ f(s-x,t-y) + b(x,y) \mid (s-x,t-y) \in D_f; (x,y) \in D_b \} \quad (6)$$

여기서, $f(x,y)$ 는 입력 영상이고, $b(x,y)$ 는 창(structuring element)이며, D_f 는 $f(x,y)$ 의 영역(domain)을 나타내고, D_b 는 $b(x,y)$ 의 영역이다. 이들 모폴로지 연산의

효과는 다음과 같다. 즉, 각 연산에서 사용되는 창(structuring element)의 값이 양의 값으로 구성된다면, 다치 영상에 침식 연산을 수행할 경우, 전반적으로 더 어두워진 영상이 생성되며, 입력 영상내에서 창보다 면적(area)이 더 작은 밝은 세부적 부분들(details)은 제거되거나 감소된다. 또한 확산 연산을 수행할 경우에는 전반적으로 더 밝은 영상이 생성되며, 상대적으로 어두운 세부 부분들이 제거되거나 감소되는 등 침식 연산과는 반대인 효과를 발생시킨다.

이들 침식 및 확산 연산을 조합하여 사용함으로써 또 다른 모폴로지 연산인 오프닝 연산과 클로우징 연산이 만들어 진다. 이중 오프닝 연산은 원래 영상에 침식 연산을 행한후 그 결과 영상에 확산 연산을 취하는 것으로서 식 (7)과 같이 정의되며, 클로우징 연산은 입력 영상에 연산 적용의 순서를 오프닝의 경우와는 반대로 하는 것으로서 식 (8)로 정의된다.

$$\text{OPENING} : f \circ b = (f \ominus b) \oplus b \quad (7)$$

$$\text{CLOSING} : f \bullet b = (f \oplus b) \ominus b \quad (8)$$

계조치 영상에 오프닝 연산을 행하면, 창의 크기에 비해 상대적으로 작고 밝은 부분들만이 제거되면서 전반적인 밝음의 정도와 비교적 커다란 밝은 특징들은 보존되는 효과를 얻는다. 한편 클로우징 연산을 행한 경우에는 그와 반대로 영상내에서 창의 크기에 비해 상대적으로 작은 어두운 부분들만이 제거되고 밝은 특징들은 보존된다.^[2,3] 이 특성을 이용하면 원영상과 오프닝 처리된 영상의 차이로 부터 영상내의 리지 부분의 위치를 검출할 수 있으며, 원영상과 클로우징 처리된 영상의 차이로 부터 영상내의 밸리 부분의 위치를 검출할 수 있다.

이상에서 설명한 모폴로지 연산의 효과는 local min/max 연산을 사용하면 보다 간결한 수식으로 구현할 수 있다. local min/max 연산에서는 창을 사용함이 없이 영상의 침식 및 확산 효과를 나타내는데, 이때 창의 기능은 이 근방 연산을 적용할 때 사용되는 국부적 소영역의 크기가 대신한다. 이때 사용할 국부적 소영역의 크기를 최소 크기인 3x3 근방 영역으로 설정하고 이 연산을 영상에 단순히 반복적으로 적용함으로써, 기존의 모폴로지 연산에 있어서의 더 큰 창을 사용한 효과를 얻을 수 있다. 영상 Π_G 에 대해 local min/max 연산을 사용하여 구현한 오프닝 및 클로우징 연산은 다음의

식 (9),(10)과 같이 쓸 수 있다.

$$\text{OPENING}(\Pi_G)(i,j) = \max_R \{ \min_R \{ \mu_G^i \} \} , \mu_G^i \in \Pi_G \quad (9)$$

$$\text{CLOSING}(\Pi_G)(i,j) = \min_R \{ \max_R \{ \mu_G^i \} \} , \mu_G^i \in \Pi_G \quad (10)$$

그리고 이들 연산을 사용하여 계조치 영상으로 부터 리지와 밸리의 위치를 탐지할 수 있다.

1. 리지(Ridge) 검출

영상내의 리지 부분의 위치는 원영상에서 오프닝 처리된 영상을 화소 단위로 빼주고 그 값이 영(zero)보다 큰 화소 부분을 찾음으로써 구할 수 있다. 즉, 크기가 $I \times J$ 인 입력 영상을 Π_G 라 하고, 구하고자 하는 리지 영상을 Π_{RIDGE} 로 표시한다면, 식 (11)과 같이 local min/max 연산을 이용하여 입력 영상으로 부터 간단하게 리지 부분을 탐지할 수 있다.

$$\Pi_{\text{RIDGE}} = \{ \mu_{\text{RIDGE}}^i ; i=1, 2, \dots, I, j=1, 2, \dots, J \} \quad (11)$$

여기서,

$$\mu_{\text{RIDGE}}^i = \begin{cases} 1 & \text{if } \mu_G^i - \max_R \{ \min_R \{ \mu_G^i \} \} > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} , \mu_G^i \in \Pi_G$$

식 (11)에서 local min/max 연산시 3x3 근방 크기를 사용하면 다치 영상에 있어서 화소 단위로 폭이 2 이하인 리지를 검출할 수가 있다. 이 보다 더 큰 폭의 리지를 검출하려면 기존의 모폴로지 기법에서는 오프닝시 더 큰 직경의 창 b를 선정하여 사용해야 한다. 그러나 local min/max 연산을 사용할 경우에는 단순히 동일한 이 연산을 반복 적용함으로써 원하는 큰 폭의 리지도 검출할 수가 있다. 즉, 식 (11)의 연산은 식 (12)와 같이 확장될 수 있다.

$$\Pi_{\text{RIDGE}_n} = \{ \mu_{\text{RIDGE}_n}^i ; i=1, 2, \dots, I, j=1, 2, \dots, J \} \quad (12)$$

여기서,

$$\mu_{\text{RIDGE}_n}^i = \begin{cases} 1 & \text{if } \mu_G^i - \max_R^{(n)} \{ \min_R^{(n)} \{ \mu_G^i \} \} > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} , \mu_G^i \in \Pi_G$$

이때, 연산자 \min_R 과 \max_R 에서의 첨자 (n)은 이 연산을 n회 반복 처리함을 의미하며, 이는 기존의 모폴로지 연산에서 창 b를 크게 선정하여 사용하는 효과를 갖는다. 식 (12)에 의하면 화소 단위로 폭이 2n 이하인 모든 리지 부분의 위치를 검출할 수 있다. 한편, 식 (12)를 사용할 경우 영상내에 존재하는 좁은 형태의 밝은 부분이 모두 검출되게 되는데, 이들 중에는 실제로 구하고자 하는 두드러진 형태의 리지 부분들도 있겠으나

그 외에 잡음 성분 및 원하지 않는 미소한 부분들도 존재하게 된다. 이 중 뚜렷한 형태의 리지 부분만을 검출하려면, 식 (12)에 의해 구해지는 리지들 중 자신의 근방에 대한 상대적인 높이가 큰 부분만을 리지로 취하면 된다. 다음의 식 (13)은 식 (12)에 리지의 상대적인 높이(height)를 검사하는 조건을 첨가한 것으로서, 이 식을 이용하면 뚜렷한 형태의 리지 부분만을 검출할 수 있을 뿐만 아니라 가우시안 잡음이 리지로 잘못 검출되는 것을 방지할 수도 있다.

$$\Pi_{RIDGE_n} = \{ \mu_{RIDGE_n}^i ; i=1, 2, \dots, I, j=1, 2, \dots, J \} \quad (13)$$

여기서,

$$\mu_{RIDGE_n}^i = \begin{cases} 1 & \text{if } \mu_{RIDGE_n}^i - \max_R^{(n)} \{ \min_R^{(n)} \{ \mu_{RIDGE_n}^i \} \} > 0 \text{ .AND.} \\ & \mu_{RIDGE_n}^i - \max_R^{(n+1)} \{ \min_R^{(n+1)} \{ \mu_{RIDGE_n}^i \} \} > height, \mu_{RIDGE_n}^i \in \Pi_C \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

이 식의 사용시, 임계값 height를 큰값으로 선정하면 뚜렷한 형태의 리지 부분들만이 검출되며, 작은값으로 선정하면 미세한 리지들까지 포함하여 많은 리지들이 검출될 뿐만 아니라 가우시안 잡음이 리지로 잘못 검출될 우려도 있다. 따라서 잡음성 영상에 대해서는 임계값으로서 큰 값을 선정하여 사용하는 것이 좋다.

2. 밸리(Valley) 검출

영상내의 밸리 부분의 위치는, 앞에서의 리지 검출 기법과 유사하게, 식 (10)의 클로우징 연산을 응용함으로써 탐지할 수 있다. 즉, 구하고자하는 밸리영상 Π_{VALLEY_n} 은 식 (14)에 의해 간단히 구해진다.

$$\Pi_{VALLEY_n} = \{ \mu_{VALLEY_n}^i ; i=1, 2, \dots, I, j=1, 2, \dots, J \} \quad (14)$$

여기서,

$$\mu_{VALLEY_n}^i = \begin{cases} 1 & \text{if } \min_R^{(n)} \{ \max_R^{(n)} \{ \mu_{VALLEY_n}^i \} \} - \mu_{VALLEY_n}^i > 0, \mu_{VALLEY_n}^i \in \Pi_C \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

식 (14)에서 local min/max연산시 3x3 근방 크기를 사용하면 다치 영상에 있어서 화소 단위로 폭이 2n 이하인 모든 밸리 부분의 위치를 검출할 수가 있다.

이 때에도, 리지 검출의 경우와 유사하게, 밸리의 상대적인 깊이(depth)를 검사하는 조건을 식 (14)에 첨가한 다음의 식 (15)를 사용하면 가우시안 잡음의 영향을 배제하면서 뚜렷한 형태의 밸리 부분만을 검출할 수 있다.

$$\Pi_{VALLEY_n} = \{ \mu_{VALLEY_n}^i ; i=1, 2, \dots, I, j=1, 2, \dots, J \} \quad (15)$$

여기서,

$$\mu_{VALLEY_n}^i = \begin{cases} 1 & \text{if } \min_R^{(n)} \{ \max_R^{(n)} \{ \mu_{VALLEY_n}^i \} \} - \mu_{VALLEY_n}^i > 0 \text{ .AND.} \\ & \min_R^{(n+1)} \{ \max_R^{(n+1)} \{ \mu_{VALLEY_n}^i \} \} - \mu_{VALLEY_n}^i > depth, \mu_{VALLEY_n}^i \in \Pi_C \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

이 식의 사용시, 임계값(depth)을 큰값으로 선정하면 뚜렷한 형태의 밸리 부분들만이 검출되며, 작은값으로 선정하면 미세한 밸리들까지 포함하여 많은 밸리들이 검출될 뿐만 아니라 가우시안 잡음이 밸리로 잘못 검출될 우려도 있다. 따라서 잡음성 영상에 대해서는 임계값(depth)으로서 큰 값을 선정하여 사용하는 것이 좋다.

그림 3은 디지털 영상에 대해 식 (12)와 (14)을 이용하여 리지와 밸리를 검출하는 과정을 일차원적으로 보여준다. 여기서는 최소 폭(즉, 폭이 2화소 이내)의 리지 및 밸리를 검출하기 위해 각 연산의 반복 적용 회수 n으로는 1을 사용하였다.

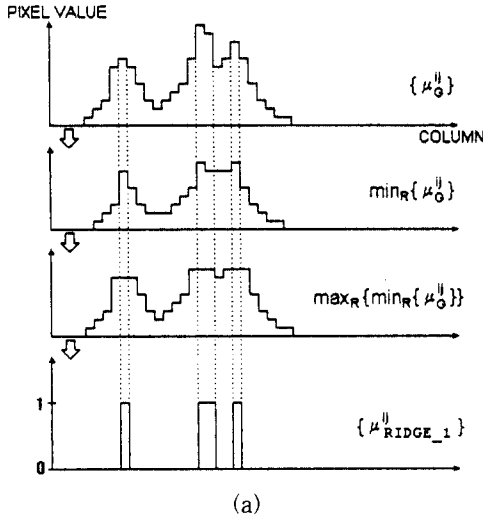
본 기법은 연산이 단순하므로 모폴로지 연산을 사용하는 것 보다 계산시간이 절약되는 장점이 있으며, 기존에 연구된 기법들이 좁은 폭의 리지와 밸리만을 검출할 수 있는데 비해, 본 기법은 사용자가 임의로 지정하는 폭 이하의 모든 리지와 밸리를 검출할 수 있고 또한 가우시안 잡음에 대처하는 기능을 지니고 있다는 특징을 가진다.

IV. 실험 및 결과

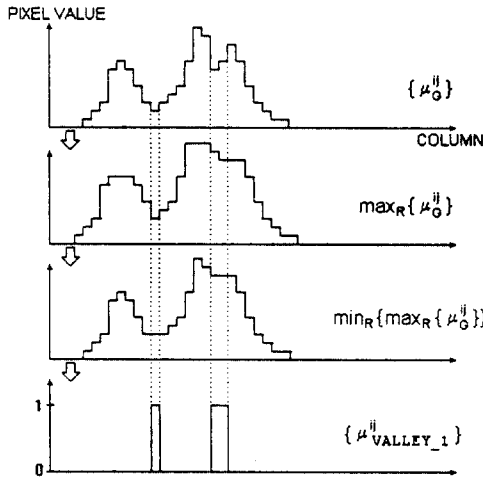
본 절에서는 제안 기법을 영상에 적용한 실험 결과를 보인다. 실험 장비로는 IBM PC 486 DX2에 PCVISIONplus 영상처리 보드를 장착한 비전 시스템을 사용하였다.

그림 4는 항공 영상에 대한 실험 결과이다. 그림 4(a)는 크기가 256x256이고 256 그레이 레벨인 원영상이고, 그림 4 (b),(c),(d)는 각각 다른 기법에 의해 구해진 리지 영상이다. 이중 그림 4(b)는 Johnston과 Rosenfeld 기법^[4]에 의한 결과인데, 이 기법은 비교적 초기에 연구된 것으로서 구해진 리지의 연결성이 불량하며 대체적으로 리지 검출 성능이 나쁜 것을 볼 수 있다. 그림 4(c)는 Haralick 기법^[16]에 의해 얻어진 결과이다. 이 기법을 사용하려면 영상을 표면함수 f로 환산하고 이의 1차 미분값 f'와 2차 미분값 f''에 대한 임계값들을 미리 지정해 주어야 하는데, 본 영상은 조건 f' < 1.0

와 $f'' < -2.0$ 을 사용한 결과이다. 이 경우 만일 f' 의 임계값으로 더 큰 값을 사용하거나 f'' 의 임계값으로 더 작은 값을 사용하면 미세한 리지와 잠음 성분을 포함한 더 많은 리지들이 검출되며, 임계값을 그 반대로 정하면 뚜렷한 형태의 리지 부분만이 검출된다.



(a)



(b)

그림 3. 리지 및 밸리 검출 과정

(a) 리지 검출 : 식 (12), $n=1$ (b) 밸리 검출 : 식 (14), $n=1$

Fig. 3. The procedures of detecting ridges and valleys.

(a) Ridge detection : Eq.(12), $n=1$ (b) Valley detection : Eq.(14), $n=1$

그림 4(d)는 제안 기법인 식 (13)을 사용한 결과이다. 이때, 최소 폭의 리지를 구하기 위해 $n=1$ 을 사용하였고, 임계값(height)으로는 3을 사용하였다. 이 경우 더

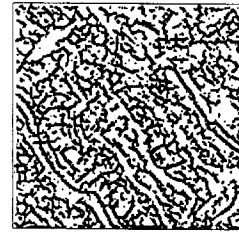
작은 임계값을 사용하면 잠음 성분을 포함하여 더 많은 리지들이 검출되며, 더 큰 임계값(height값)을 사용하면 뚜렷한 형태의 리지 부분만이 검출된다. 이 결과를 보면 Haralick 기법의 결과에 비해 구해진 리지의 폭이 보다 균일하며 부드러운 형태를 나타내고 있다. 그림 4 (e),(f),(g)는 원영상인 그림 4(a)에 대해 상기의 각 기법을 적용하여 얻어진 밸리 영상이다. 그림 4(e)는 Johnston과 Rosenfeld 기법에 의한 결과이고, 그림 4(f)는 Haralick 기법에서 $f' < 1.0$ 및 $f'' > 2.0$ 을 사용한 결과이며, 그림 4(g)는 제안 기법의 식 (15)에서 $n=1$, $depth=3$ 을 사용한 결과이다. 이 경우에도 임계값의 영향과 구해지는 밸리의 형태는 앞서의 리지 검출의 경우와 동일하다.

그림 5는 Lenna영상에 Sobel연산자를 적용하여 얻어진 계조치 에지 영상에 대한 실험 결과이다. 그림 5(a)는 크기가 256×256 이고 256 그레이 레벨인 계조치 에지 영상이다. 이 영상의 각 화소값은 에지 강도를 나타내는 것으로서 각 에지 부분은 리지의 형태를 이루고 있다. 따라서, 이 영상은 리지 검출의 성능을 비교하는데 유용하게 사용될 수 있다. 그림 5 (b),(c),(d)는 그림 5(a)에 상기의 3가지 기법을 적용하여 얻어진 리지 영상이다. 그림 5(b)는 Johnston과 Rosenfeld 기법에 의한 결과이고, 그림 5(c)는 Haralick기법에서 $f' < 1.0$ 및 $f'' < -2.0$ 을 사용한 결과이며, 그림 5(d)는 제안 기법인 식 (13)에서 $n=1$, $height=3$ 을 사용하여 얻어진 결과이다. 이들 결과를 비교해 보면 에지 형태의 보존면에서 제안 기법이 보다 우수한 성능을 나타냄을 볼 수 있다.

그림 6은 문자 추출의 한 방법으로서 제안 기법이 사용될 수 있음을 보이며, 또한 본 기법의 사용시 임계값을 적절히 선정하면 가우시안 잡음의 영향을 배제하면서 리지를 잘 검출할 수 있음을 보인다. 그림 6(a)는 가우시안 잡음을 혼입하여 제작한 문자 영상(SNR=30.78)이다. 본 실험의 목적을 위해 이 영상의 상단에 위치한 문자열 "1994"의 그레이 레벨이 하단의 배경의 그레이 레벨과 같도록 하였으며, 이에 가우시안 잡음을 첨가하였다. 이와 같은 그레이 레벨의 분포인 경우 히스토그램 정보를 참조하는 단순한 임계화 방법으로는 문자 추출이 곤란하며 그 대신 선검출 기법을 사용하는 방안을 생각할 수 있다. 그러나 본 영상내의 문자들은 그 폭이 일정하지 않으므로 역시 단순한 선검출 기법은 사용할 수 없으며, 그에 대한 대안으로 리지 검출 기법에 의해 선을 검출함으로써 문자를 추출해 낼 수

있다. 그런데 기존의 리지 검출 기법들은 폭이 좁은 리지만을 검출하므로 역시 이경우에는 사용이 곤란하다. 이에 대해 제안 기법은 지정하는 폭 이하의 모든 리지들을 검출할 수 있으므로 이 경우에 사용이 가능하다.

본 영상내의 문자들은 굵고 가는 선들로 구성되는데 그중 가장 굵은 선의 폭을 조사해 보면 4화소 크기이다. 따라서 식 (13)의 사용시 폭이 $2n$ 이하인 모든 리지들이 검출되므로, 이 경우 $n=2$ 를 사용하면 된다. 한편 잡음에 대한 문제는 식 (13)에서 임계값(height)의 크기를 조절하면 해결할 수 있다. 그림 6(b)는 그림 6(a)의 잡음성 문자 영상에 식 (13)의 적용시, $n=1$, height=10을 사용한 결과이다. 이 결과를 보면 문자는 잘 추출되었으나 잡음의 크기에 비해 임계값의 크기가 작으므로 잡음 성분이 일부 남아 있다. 그림 6(c)는 $n=2$, height=20을 사용한 결과인데 잡음의 영향을 받지 않고 문자가 잘 추출되어 있음을 볼 수 있다. 이 실험 결과는 제안 기법이 잡음에 대처하는 기능을 가지면서 다양한 폭의 리지를 검출할 수 있음을 보인다.



(g)

그림 4. 항공 영상에 대한 리지 및 밸리 검출
 (a) 원영상 (b) 리지 (Johnston과 Rosenfeld 기법) (c) 리지 (Haralick 기법, $f' < 1.0$, $f'' < -2.0$) (d) 리지 (제안 기법, 식 (13), $n=1$, height=3) (e) 밸리 (Johnston과 Rosenfeld 기법) (f) 밸리 (Haralick 기법, $f' < 1.0$, $f'' > 2.0$) (g) 밸리 (제안 기법, 식 (13), $n=1$, depth=3)

Fig. 4. The detected ridges and valleys for the aerial image.

(a) Original image (b) Ridges (Johnston and Rosenfeld method) (c) Ridges (Haralick method, $f' < 1.0$, $f'' < -2.0$) (d) Ridges (proposed method, Eq.(13), $n=1$, height=3) (e) Valleys (Johnston and Rosenfeld method) (f) Valleys (Haralick method, $f' < 1.0$, $f'' > 2.0$) (g) Valleys (proposed method, Eq.(13), $n=1$, depth=3)

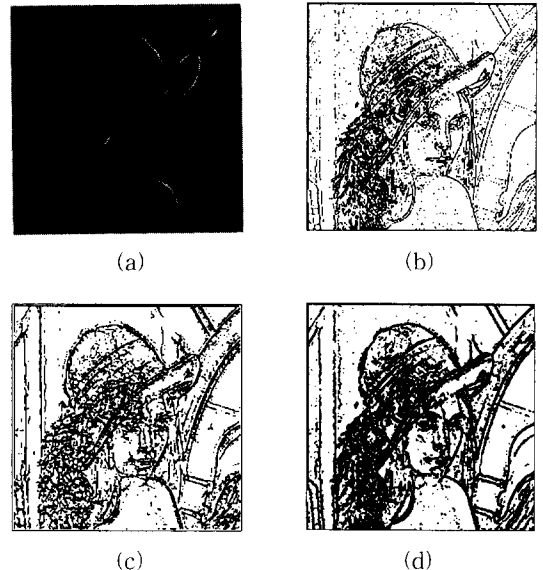
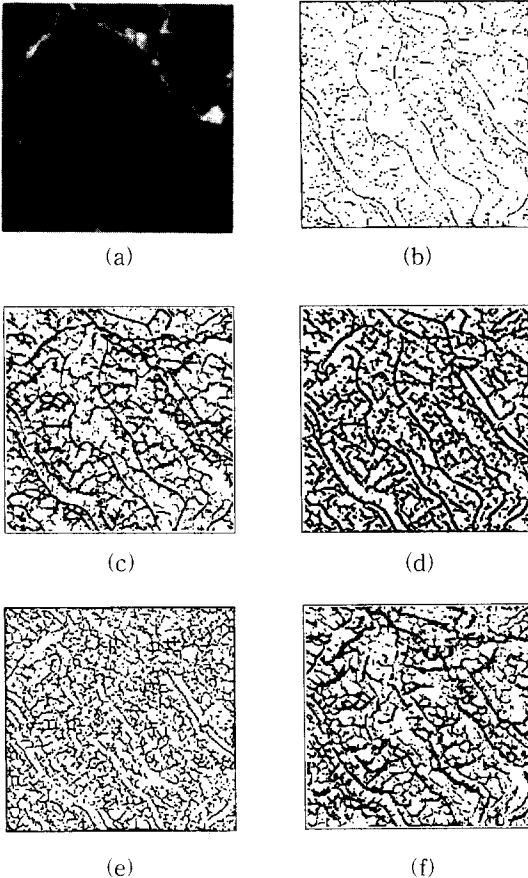


그림 5. 계조치 에지 영상에 대한 리지 검출
 (a) 원영상 (b) Johnston과 Rosenfeld 기법 (c) Haralick 기법, $f' < 1.0$, $f'' < -2.0$ (d) 제안 기법, 식 (13), $n=1$, height=3

Fig. 5. The detected ridges for the gray scale edge image.

(a) Original image (b) Johnston and Rosenfeld method (c) Haralick method, $f' < 1.0$, $f'' < -2.0$ (d) Proposed method, Eq. (13), $n=1$, height=3

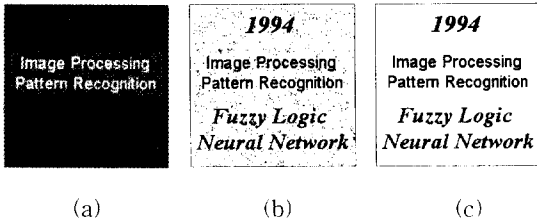


그림 6. 제안 기법에 의한 문자 추출
(a) 잡음성 문자 영상(SNR=30.78) (b) 식 (13), $n=2$, height=10 (c) 식 (13), $n=2$, height=20
Fig. 6. Character extraction by the proposed method.
(a) Noisy character image(SNR=30.78) (b) Eq.(13), $n=2$, height=10 (c) Eq.(13), $n=2$, height=20

V. 결 론

본 논문에서는 local min/max연산을 이용하여 디지털 계조치 영상에서 리지와 밸리 부분을 검출하는 새로운 기법을 제시하였다. 본 기법에서는 기존의 모폴로지 기법에서의 오프닝 연산이 영상내의 작고 밝은 부분을 제거하고, 클로우징 연산이 작고 어두운 부분을 제거한다는 특성에 착안하여 local min/max연산으로 오프닝 및 클로우징 처리 효과를 구현함으로써 디지털 영상내의 리지와 밸리를 검출한다. 기존의 해석적 방법을 이용하는 리지 및 밸리 검출 기법에 비해 제안된 기법은 리지 및 밸리의 진행 방향을 미리 계산할 필요가 없이 단순한 논리 연산만으로 이루어지므로 처리 속도가 빠르며, 검출 성능면에서도 양호한 특성을 보인다. 또한, 반복형 처리 방식을 사용함으로써 원하는 폭 이하의 리지와 밸리들을 손쉽게 검출할 수 있는 기능이 있으며, 잡음에 대처하는 기능도 가진다. 본 기법은 본질상 패러렐 처리 방식이며 단순한 논리 및 산술 연산을 사용하므로 본 연산을 위한 전용 H/W 장치의 개발이 용이하고 그에 따라 고속의 처리가 가능할 것으로 생각된다. 예를 들면, 본 기법에서 사용되는 연산은 local min연산, local max연산, 마이너스 연산 그리고 비교 연산인데, 이들 각각을 전용의 H/W장치로 처리할 경우, 각 연산의 처리 시간을 1/30초로 가정하면, 식 (11)을 이용한 리지 검출시 필요한 소요 시간은 4/30초에 불과하다.

실험을 통하여 본 기법의 성능을 다른 기법들과 비교하여 본 결과, 본 기법에 의해 양호한 리지 와 밸리를 검출할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] R. M. Haralick and L. G. Shapiro, *Computer and robot vision*, vol. I, Addison-Wesley, 1992.
- [2] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital image processing*, Addison-Wesley, 1992.
- [3] C. R. Giardina and E. R. Dougherty, *Morphological methods in image and signal processing*, Prentice-Hall, 1988.
- [4] E. G. Johnston and A. Rosenfeld, "Digital detection of pits, peaks, ridges and ravines", *IEEE Trans. on Syst., Man, and Cybern.*, pp. 472-480, July, 1975.
- [5] R. M. Haralick and L. Watson, "A facet model for image data", *Computer Graphics and Image Processing*, Vol. 15, pp. 113-129, 1981.
- [6] R. M. Haralick, "Ridges and valleys on digital images", *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol. 22, pp. 28-38, 1983.
- [7] Y. Nakagawa and A. Rosenfeld, "A note on the use of local min and max operations in digital picture processing", *IEEE Trans. on Syst., Man, and Cybern.*, vol. SMC-8, No. 8, pp. 632-635, August, 1978.
- [8] V. Goetcherian, "From binary to grey tone image processing using fuzzy logic concepts", *Pattern Recognition*, Vol. 12, pp. 7-15, 1980.
- [9] S. Peleg and A. Rosenfeld, "A min-max medial axis transformation", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intell.*, Vol. PAMI-3, No. 2, pp. 208-210, March, 1981.
- [10] M. M. Gupta and G. K. Knopf, "Fuzzy logic in vision perception", *SPIE Intelligent Robots and Computer Vision XI*, Vol. 1826, pp. 300-316, 1992.

저 자 소 개



朴重祖(正會員)

1957年 3月 21日生. 1981年 2月
고려대학교 전기공학과(공학사).
1983年 2月 고려대학교 대학원
전기공학과(공학석사). 1995年 8
月 고려대학교 대학원 전기공학
과(공학박사). 1983年 1月 ~

1988年 10月 코리아타코마조선(주) 연구원. 1988年
10月 ~ 1991年 2月 산업과학기술연구소 주임연구원.
1996年 3月 ~ 현재 경상대학교 제어계측공학과 조교
수. 주관심분야는 컴퓨터비전, 퍼지 및 신경망 응용.

鄭淳元(正會員) 第 32卷 B編 第 12號 參照

현재 고려대학교 대학원 전기공학
과 박사과정

金景敏(正會員) 第 32卷 B編 第 12號 參照

현재 고려대학교 대학원 전기공학과
박사과정

朴貴泰(正會員) 第 32卷 B編 第 12號 參照

현재 고려대학교 전기공학과 교수